新疆天文台南山站 DBBC2 数字终端系统的建立

杨文军[1,4]，杨军[2]，江悟[3]，夏博[3]，李健[1]，崔朗[1]，张华[1]，李鹏[1]，高志福[1]

（1. 中国科学院国家天文台新疆天文台，新疆 乌鲁木齐 830011；2. 查尔姆斯理工大学 Onsala 天文台，瑞典 43992；3. 中国科学院上海天文台，上海 200030；4. 中国科学院射电天文重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011）

摘要： 随着计算机数字技术的高速发展，甚长基线干涉仪测量（Very Long Baseline Interferometry，VLBI）所需的关键观测终端设备基带转换器（Base Band Converter， BBC）已从模拟系统（Analog BBC，ABBC）发展为数字系统（Digital BBC， DBBC）。相对于模拟系统，数字系统具有很高的灵活性，并能成倍地提高 VLBI 观测带宽，进而能满足各种高灵敏度的 VLBI 观测需求。考虑到这些技术优势，以及新疆天文台南山站在国内和国际 VLBI 网中的重要作用，南山站 2016 年对 VLBI 终端系统进行了升级，引进了一套意大利 Hat-Lab 公司研发的 DBBC2 终端。介绍了欧洲 DBBC2 系统的主要构成模块和工作原理以及系统的组装、连接、配置、校准和调试方法。在对系统硬件和软件进行全面的检测和测试后，与国内和国际的主要台站开展了联合观测，并多次成功获得相关干涉条纹。这一系列的成功观测表明，南山 DBBC2 系统已成功安装，并具有很高的可靠性。应用新的 DBBC2 系统，南山站可参与 2/4Gbps 的记录速率的宽带 VLBI 观测，极其有助于天文学家对宇宙中更暗弱的射电源开展毫角秒分辨率的成图观测。

关键词：DBBC2 系统；甚长基线干涉测量；基带转换器

中图分类号：p111.44　　文献标识码: A　　文章编号:1672-7673

射电观测由于信号频率高、频带宽，一般要经过下变频为中频，再分为若干一定带宽的通道。VLBI 网把完成这一数据采集过程的设备叫做基带转换器[1-2]。南山站目前拥有两套上海天文台生产的数字基带转换器（Chinese Data Acquisition System， CDAS）[3]和一套美国生产的模拟基带转换器。其中数字基带转换器主要用于国内联测和东亚联测，模拟基带转换器主要用于欧洲 VLBI 网（The European VLBI Network，EVN）和 IVS（International VLBI Service for Geodesy & Astrometry）国际联测。2010 年以后，国际许多台站的模拟终端逐步更新为数字终端。当前较为流行的是欧洲数字基带转换器，其中 DBBC1 系统主要是测试产品，未进行推广，而 DBBC2 系统已经广泛应用于欧洲 VLBI 网天文观测台站。近几年，DBBC3 数字终端系统也已研制出来，它将应用于欧洲 VLBI 网天体物理宽带 VLBI 终端系统和测地 VGOS（The VLBI 2010 Global Observing System)超宽带 VLBI 系统中[4]。目前 DBBC3 数字终端系统已在瑞典 Onsala VLBI 测站进行了测试并取得成功。南山站的模拟基带转换器建造于 20 世纪 80 年代末，使用至今已进行过多次升级和改造，由于设备使用过久，许多器件早已停产，使得设备维护比较困难，维护成本也相对较高。另外，随着电子技术的高速发展和天文观测需求的提高，南山站的模拟基带转换器已经远远不能满足未来的天文观测要求，为此南山站于 2016 年从意大利 HAT-Lab s.r.l 公司购进了一套 DBBC2 数字终端系统，该系统经过数月的检测和调试后，与国内和国际主要台站开展了 VLBI 联合观测并成功相关出干涉条纹。实践表明，该套 DBBC2 系统已完全能够取代模拟基带转换器并参加未来国际和国内的各项联合观测。

1　DBBC2 系统基本原理和组成

DBBC2 系统主要由模拟信号调节模块、AD 采样器、数据处理模块 CORE、连接伺服器、FILA10G 模块、时序和时钟板以及 PC 机组件等构成[5-6]。

中频信号 IF 送到模拟信号调节模块，经滤波整形和增益控制后送到 AD 采样器，变成数字信号后经高速输入总线（High Speed Input，HSI）到数据处理模块 CORE，进行数字下变频（Digital Down Convert），滤波变成数字基带信号，最后经 HSO 总线（High Speed Output）和第 2 块 FILA 板的 VSI 接口输出。VSI 接口可连接到 Mark5B[1]数据记录设备或连接到 FILA10G 模块。 1024MHz 频率综合器产生 AD 采样器所需的采样时钟。PC 机组件接收 FS 计算机发送的命令，经 PCI 总线控制 DBBC2，原理如图 1。

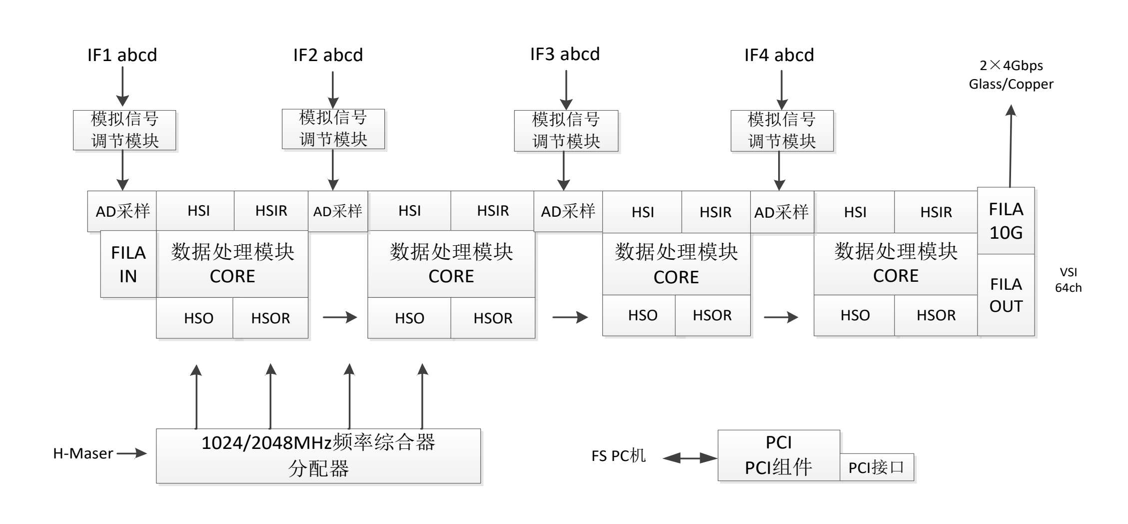


图 1. DBBC2 原理图

Fig. 1 DBBC 2Schematic Diagram

2　DBBC2 结构

DBBC2 系统安装在 483 mm 宽，370 mm 高，500 mm 深的机箱内。在 DBBC2 前面板下边，蓝色指示灯表示主电源开关有效，如图 2。 在后面板上有多个连接器件和接口，其中在左下角有 3 个开关，1 个大的，2 个小的，大的作为普通主连接，2 个较小的电源开关中，红色按钮开关用于电子设备供电，绿色按钮开关用于内部 PC 机系统供电。开机顺序从左到右依次打开，关机顺序正好相反，如图 3。



图 2. DBBC2 前面板图

Fig .2 Front panel picture of DBBC2



图 3. DBBC2 后面板图

Fig.3 Rear panel picture of DBBC2

DBBC2 内部结构主要包括电子部分、PC 部分、散热系统和电源系统 4 大部分，如图 4。

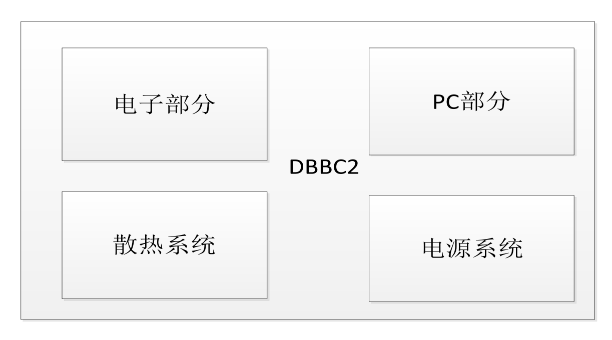


图 4. DBBC2 内部机构

Fig. 4 The internal structure of DBBC2

3　DBBC2 主要性能指标

DBBC2 主要性能指标[5]如表 1。

表 1 DBBC2 性能指标

Table 1 Performance index of DBBC2

主要参数	性能指标
自带中频滤波可选输出中频信号（MHz）	1（1-512）,2（512-1024）,3（1024-1536）,4（1536-2058）
通道带宽（MHz）	V105E：32,16,8,4,2,1
A/D 采样器	采样时钟：1024MHz
数据处理模块	CORE2
FILA 10G 模块	5B 格式器；10G 光纤输出；VSI 输入/输出
1024MHz 综合器	产生系统时钟
连接伺服器	FILA 板
PC 主要配置	Windows XP 系统；PCI 7200；PCI9111HR；JTAG 接口

4　DBBC2 软件和观测模式

DBBC2 软件[6]是在 Windows XP 环境下运行。其中 DBBC2 控制软件在 c:\DBBC\bin 目录下，使用手册在 c:\DBBC\doc 目录下，配置文本文件在 c:\DBBC_CONF\目录下，固件在 c:\DBBC_CONF\FilesDBBC 目录下。主要软件有 DBBC2 Control DDC V105_1.exe 和 DBBC2 Control DDC V105E_1.exe 等。观测模式主要包括 DDC 和 PFB 模式。其中 DDC 是可调谐的，通道带宽范围在 1-16MHz，上下边带，持续的 80Hz 同步校准。观测模式有 geo,astro,astro2,W-astro,VLBA 和 test。DDC 模式中还包括 DDC-E，它的带宽可以达到 32MHz，可以用于 astro3 观测模式。PFB 模式是固定调谐，通道带宽为 32/64MHz，都是上边带或下边带，主要取决于奈奎斯特分布。

5 系统建立和调试

5.1 硬件连接及自检

（1）在 DBBC2 后面板上连接 10MHz 信号，幅度为 0dBm 左右，连接 1pps 信号，将 DBBC2 输出的 VSI 电缆线连接至 Mark5B 上，接通 220V 电源，将 DBBC2 接入 VLBI 终端系统的内网中并配置好 IP 地址。开机顺序是先开 DBBC2 后面板左下的总电源，然后依次打开工控机电源和 PC 电源。

（2）在 DBBC2 的 Windows 桌面上运行 DDC 软件，此时系统对硬件进行配置，DBBC2 内的 4 片 FPGA 将编程并载入本振频率，编程完成后，所有板卡上的 LED 灯都显示同样的图案。观察 DBBC2 前面板上的 4 列灯依次闪烁，最后以每秒 1 次的频率同步闪烁，DBBC2 系统加电正常，软件工作正常。

（3）根据手册说明编辑配置文件，为 ADB 选择不同的中频输入，通过 AGC 进行信号幅度的调整。在 Windows XP 桌面运行 DBBC client v4.exe 程序，弹出客户端窗口，在“Enter Command：”提示符下按照 DBBC2 手册说明输入相关指令来检测 DBBC 中频功率幅度、带宽、中频衰减等状态。

（4）Mark5B 需要同步 DBBC2 经 VSI 电缆线传来的 1PPS 信号，在 Mark5B 上运行 tstDIM 程序[7]，参考 Mark5B 手册在提示符下执行时间同步指令。

5.2 时钟校准

由信号发生器产生一个 764MHz 的信号，幅度为-15dBm 左右。该信号经过一个一分四的功分器输出至 DBBC2 的后面板 IFA1，IFB1，IFC1，IFD1 上，此时 DBBC2 内部中频滤波输出所选取的都为 2 号滤波器（512-1024MHz）。时钟校准的具体步骤参考文[8]。

6.3 FS 相关设置

（1） 修改 FS 计算机中/usr2/control/目录下的“dbbad.ctl”文件，将 DBBC2 的 IP 写入文件，端口号为 4000。

（2） clock 钟差采集

观测中需要格式器时钟与 GPS 时钟比对值，修改 FS 计算机的/usr2/control 目录下的 ibad.ctl 文件，定义 C2 的端口地址号为 3，格式为 C2=dev03,0。在 FS 的 operator 窗口上运行 clock，验证读取钟差是否正常。

（3） 点噪声控制

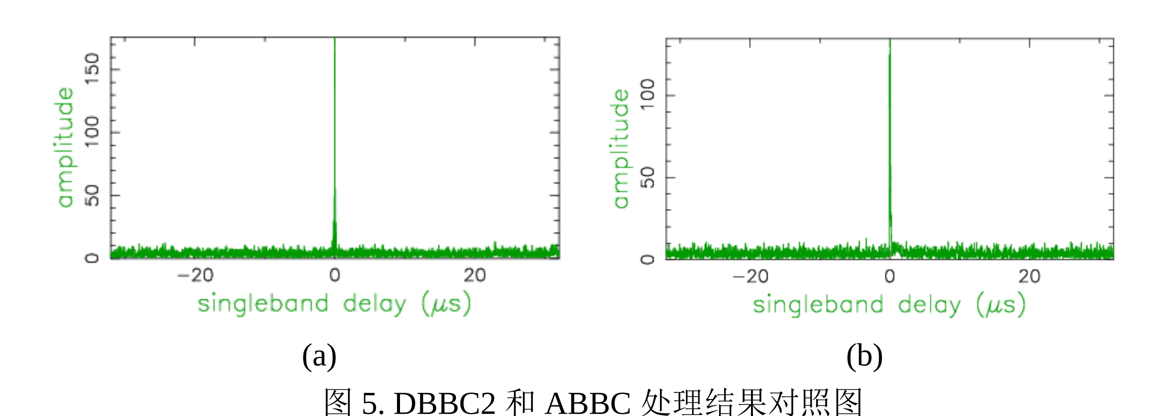
它主要用来控制接收机噪声源[9]的开和关，进而测试系统温度。在天线测量[10]时需要进行点噪声控制。在 FS 计算机的/usr2/st/stqkr/目录下的 stqkr.c 文件中设置控制点噪声控制的串口端口，格式为：pcaltty_numb="/dev/ttyr03";。重新编译后，在 FS 的 operator 窗口上运行 cal=on 和 cal=off 指令，验证通讯是否正常。

（4）equip.ctl 文件修改

将文件中的机架类型选择为 dbbc，版本选择为 v105_1，Mark5B 时钟速率选择为 32，FiLa10G 输入选择为 vsi1。

5.4 互相关测试

2017 年 1 月 12 日，南山站与昆明站和上海天马站联合进行了 S/X 波段的条纹测试实验，成功获得干涉条纹。2 月 23 日和 25 日，南山站与欧洲 EVN 各台站进行了 L 波段的条纹测试实验，也成功获得干涉条纹。3 月 21 日南山站和天马站都参加了 EVN 的 gr039 观测，南山站同时使用了 DBBC2 和 ABBC 设备进行记录。实验结束后，取了相同时间段的数据和上海天马站进行互相关，处理结果如图 5，其中图 5(a)为 DBBC2 的测试结果，图 5(b)为 ABBC 的测试结果，可以看出 DBBC2 结果明显好于 ABBC。4 月 3 日南山站又和天马站进行了 K 波段条纹检测实验并获得较好的测试结果如图 6。通过国内和国际联合测试结果表明南山站的 DBBC2 系统已成功建立。



(a) (b)

图 5. DBBC2 和 ABBC 处理结果对照图

Fig. 5 Comparison diagram of DBBC2 and ABBC processing results

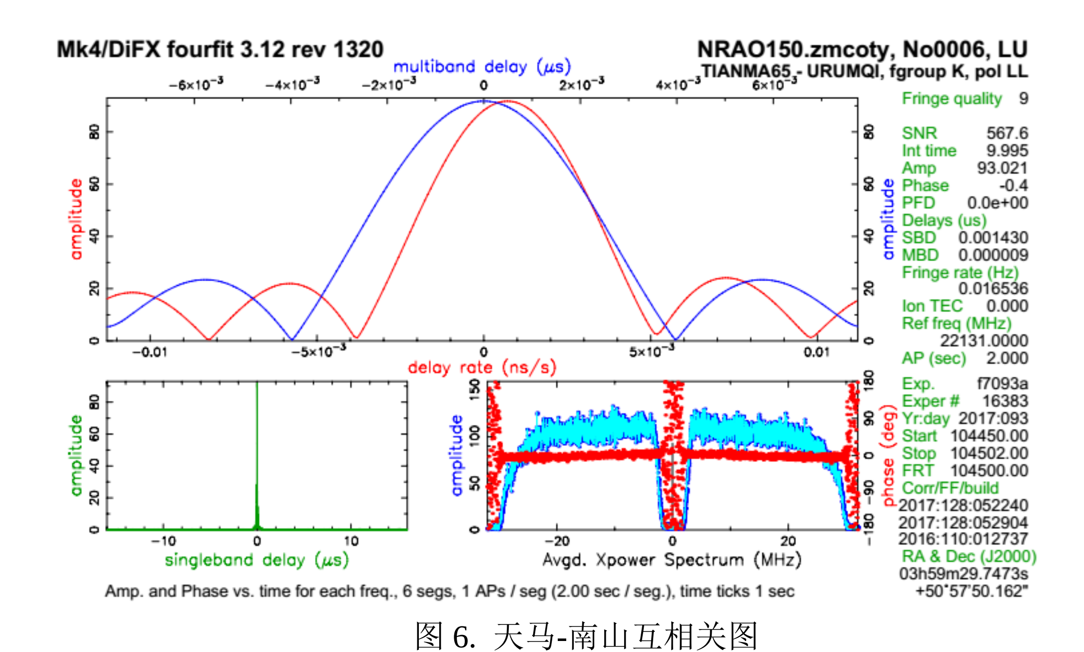


图 6. 天马-南山互相关图

Fig. 6 Cross-correlation diagram between TIANMA and NANSHAN

5.5 升级中遇到的问题

（1） DBBC2 后面板没有设计 VSI 连接端口，因此对连接在 DBBC2 内部的 VSI 电缆线还需要做一些相应的固定。

（2） 收到设备时，机箱内的 FILAIN，ADB1/2，CORE 和 FILAOUT 电路板之接的连接插头和插座都处于断开状态。在把所有连接板接口连好并检查无误后，加电运行，发现软件无法加载，通过设备指示灯无法判断原因。经过分析和判断，软件无法加载的原因是在连接各电路板之间的插头和插座时连接不够紧密造成的，对其进行紧固后，软件加载正常。

（3） 在最初的几次测试中发现相关处理后的信号其信噪比较低，猜测是由于输入信号幅度过低造成的。增加了 DBBC2 输入端信号幅度后相关结果并未改善。通过反复分析和测试，发现应该降低 DBBC2 输入端的信号幅度，因为此时进入 DBBC2 内部的信号已经处于接近饱和的状态，这也是 DBBC2 和 ABBC 以及 CDAS（Chinese Data Acquisition System）在输入信号幅度上的区别。

6 DBBC2 中频接线分配

当 DBBC2 的所有测试正常后，新建立的系统就可以参加正式的国际和国内联测了，但需要提供本台站接收机各波段信号在 DBBC2 上的中频连接示意图给制作纲要的相关人员，他们根据台站提供的接线图制定该台站的观测模式以及 BBC 的具体分配情况等等。 图 7 为南山站 DBBC2 中频接线图。

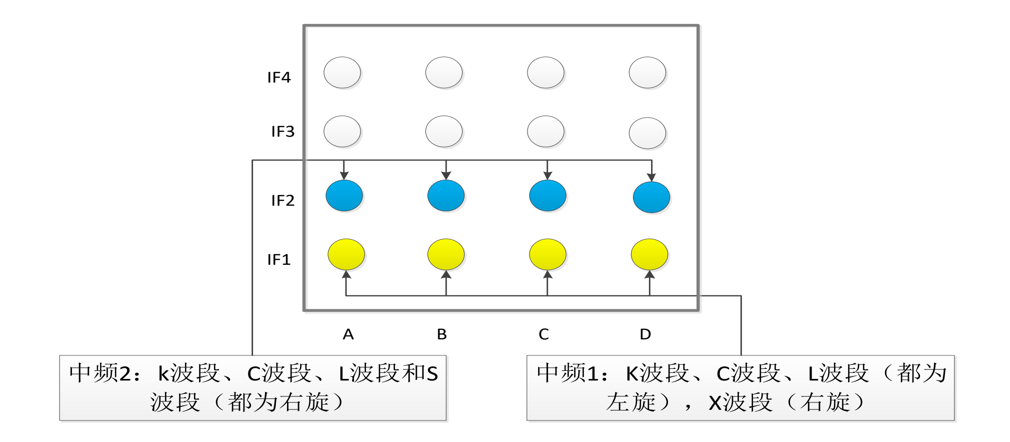


图 7. 南山站 DBBC2 连接图

Fig. 7 DBBC2 Connection diagram at Nanshan Station

7 结论

随着超大规模集成电路和软件无线电技术的发展，世界上开发的宽带数字记录终端——数字基带转换器（DBBC）已逐步取代了模拟记录终端（ABBC）。与模拟设备相比，DBBC 性价比高、带通特性好、稳定性和可靠性指标均优于模拟设备[11]。对南山站引进的 DBBC2 系统进行了全面的测试后，证明其各项技术指标均达到预期要求。通过对该系统与国内外主要台站的联合测试结果进行分析，证明其性能优于原有的模拟基带转换器。在实际操作方面，该系统相比于模拟基带转换器也是更加的便捷。此次南山站 DBBC2 系统的成功建立，标志着全球 VLBI 的模拟基带转换器时代已彻底终结。可以预见，在未来的 VLBI 联测中，南山站的 DBBC2 系统将发挥更大的作用。

致谢：感谢云南天文台昆明站和上海天文台天马站在南山 DBBC2 条纹测试中给予观测支持；感谢上海天文台工程师赵融冰和蒋甬斌以及新疆天文台工程师李光辉在软件控制方面给予帮助；感谢新疆天文台工程师陈勇、刘烽和李笑飞在设备硬件测试过程中给予帮助。

参考文献：

[1] 杨文军，郝龙飞. VLBI 终端系统的发展历史和未来展望[J]. 天文研究与技术—国家天文台台刊，2012，9（4）：374-381.

Yang Wenjun，Hao Longfei. Development history and future prospects of VLBI terminals [J]. Astronomical Research & Technology--Publications of National Astronomical Observatories of China，2012，9（4）：374-381.

[2] 张碧娟，吴亚军，于威，等. 一种 VLBI 数字基带转换器的阈值计算方法及其 FPGA 实现[J]. 天文研究与技术—国家天文台台刊，2013，10（3）：219-226.

Zhang Bijuan，Wu Yajun，Yu Wei，et al. A method of calculating the quantization threshold for a VLBI DBBC and its FPGA implementation[J]. Astronomical Research & Technology--Publications of National Astronomical Observatories of China，2013，10（3）：219-226.

[3] 朱人杰，张秀忠，韦文仁，等. 我国新一代 VLBI 数字基带转换器研制进展[J]. 天文学进展，2011，29（2）：207-217.

Zhu Renjie，Zhang Xiuzhong，Wei Wenren，et al. The progress of modern Chinese data acquisition system[J]. Progress in Astronomy，2011，29（2）：207-217
[4] Gino Tuccari. DBBC Developments[R]. 2015 https://ivs.nict.go.jp/mirror/meetings/tow2015/ .
[5] Gino Tuccari. DBBC2 hardware User Manual_V2.4.1[R]. 28 February 2011
[6] Uwe Bach. DBBC Setup and Opreation[R]. 2015 https://ivs.nict.go.jp/mirror/meetings/tow2015/ .
[7] Dan Smythe. Mark5B Operations[R]. 20 April 2007
[8] DBBC2 calibration[EB/OL]. https://deki.mpifr-bonn.mpg.de/GMVA/GMVA_HOWTO/DBBC2_calibration .
[9] 吴亚军，刘庆会，李娟，等. 上海天文台 65 米射电望远镜谱线观测及数据校验[J]. 天文研究与技术，2017，14（1）：1-7.
Wu Yajun，Liu Qinghui，Li Juan，et al. Spectral line observation and data calibration of Tianma 65m radio telescope [J]. Astronomical Research & Technology--Publications of National Astronomical Observatories of China，2017，14（1）：1-7.
[10] 项斌斌，刘志勇，杨文军. 基于 FS 系统对乌鲁木齐射电望远镜进行天线测量[J]. 天文研究与技术—国家天文台台刊，2014，11（4）：343-349.
Xiang Binbin，Liu Zhiyong，Yang Wenjun. Antenna measurement of Urumqi VLBI radio telescope with field system [J]. Astronomical Research & Technology--Publications of National Astronomical Observatories of China，2014，11（4）：343-349.
[11] 洪晓瑜，曹凝. VLBI 数字基带转换器（DBBC）[J]. 中国科学院院刊，2011,26（5）：593-596.
Hong Xiaoyu，Cao Ning. VLBI Digital Base Band Convert [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences，2011，26（5）：593-596.

Installing a VLBI digital backend with DBBC2 at Nanshan Station, Xinjiang Astronomical Observatory

Yang Wenjun[1]，Yang Jun[2]，Jiang Wu[3]，Xia Bo[3]，Li Jian[1]，Cui Lang[1]，Zhang Hua[1]，Li Peng[1]，Gao Zhifu[1]，

(1. Xinjiang Astronomy Observatory, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China, Email: yangwj@xao.ac.cn 2. Onsala Space Observatory, Chalmers University of Techology, 43992 Onsala, Sweden 3. Shanghai Astronomy Observatory, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China)

Abstract: Base Band Converters (BBC) are the key component of Very Long Baseline Interferometry (VLBI) backend. With the rapid development of computer and digital technology, Anolog BBCs (ABBC) have recently been superseded by Digital BBCs (DBBC) in the field of radio astronomy. Comparing with ABBC, DBBC have much more flexibility and support much wider bandwidth recording in VLBI observations. Considering these advantages and the key role of Nanshan station in international VLBI networks, a VLBI digital backend with DBBC2, developed by Hat-Lab (Italy), has been installed at Nanshan station, Xinjiang Astronomical Observatory. The DBBC2 is fully compactible with the European VLBI network (EVN). In the paper, we give a proper introduction to the new equipment including its structure, key modules, input and output interfaces. We also mentioned how to assemble, connect, configure, calibrate and test the equipment. After all these necessary verifications, we performed some testing observations. Fringes to Nanshan DBBC2 were successfully found in these experiments. These successes indicate that the new digital backend is successfully established and works quite stably at Nanshan station. With the new digital backend, we can achieve a recording rate of 2/4 Gbps in the wide-band VLBI observations. This will enable astronomers to image much fainter radio sources with the milliarcsecond resolution.

Key words: DBBC2 System；VLBI；BBC

基金及课题项目：

1、 (中科院西部之光项目 No. YBXM-2014-02)

2、(国家自然科学基金青年项目 No. 11503072)

3、(新疆射电天体物理重点实验室开放课题 No. 2016D03020)

作者简介：杨文军，男，高级实验师，硕士研究生，研究方向：射电天文观测，

Email:yangwj@xao.ac.cn

手机：13565858007

地址：新疆乌鲁木齐北京南路 40 号科学一街 150 号新疆天文台